

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-256601

(43)公開日 平成10年(1998) 9月25日

(51)IntCl.<sup>6</sup>

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 4 頁)

(21)出願番号 特願平10-36924

(22)出願日 平成10年(1998) 2月19日

(31)優先権主張番号 8 1 5, 0 9 7

(32)優先日 1997年 3月12日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 590000400

ヒューレット・パカード・カンパニー  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル  
ト ハノーバー・ストリート 3000

(72)発明者 ダニエル・エー・ステイガーワルド

アメリカ合衆国カリフォルニア州クバティ  
ノ ロックウッド・ドライブ 10430-ビ  
ー

(74)代理人 弁理士 上野 英夫

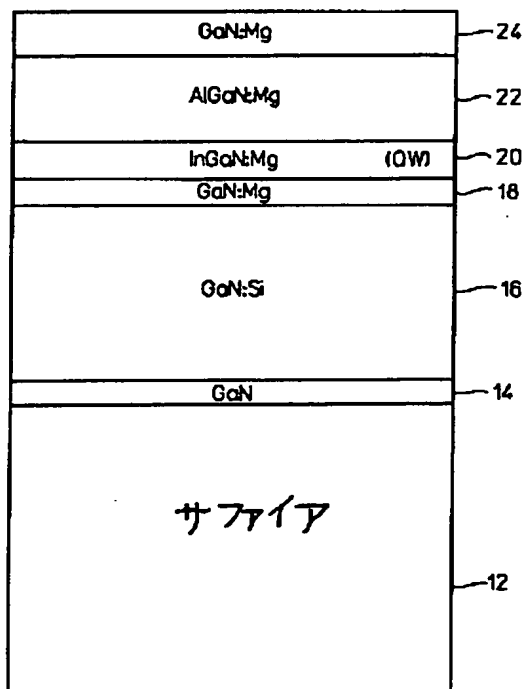
(54)【発明の名称】 発光素子

(57)【要約】

【課題】発光効率が高く発光波長が長い発光特性が向上したGa N系LEDを実現する。

【解決手段】量子井戸活性領域に隣接する層にふくまれる不純物と同じ不純物を導入する。特性向上と不純物拡散の制御不能なまたは望ましくない効果の低減がなされる。まず、基板上にGa N核生成層、SiをドーブしたGa N電流拡散層、それぞれが、それぞれ第1、第2の不純物を含んでいる第1、第2の閉じ込め層とを順次形成する。また、第1、第2の閉じ込め層の間には発光特性が向上するように選択された量子井戸不純物を備える、薄い量子井戸活性領域が挿入されている。

10



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】基板と、

基板上に配置された GaN 核生成層と、

GaN 核生成層上に配置された Si をドーブした GaN 電流拡散層と、

Si をドーブした GaN 電流拡散層上に配置された、それぞれが、それぞれ第 1、第 2 の不純物を含んでいる第 1、第 2 の閉じ込め層と、

第 1、第 2 の閉じ込め層の間に挿入され、発光素子の発光特性が向上するように選択された量子井戸不純物を備える、薄い量子井戸活性領域と、  
を備えた発光素子。

【請求項 2】前記第 1 の不純物が、注入効率を改善することによって、発光素子の発光特性が向上するように選択されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 3】前記量子井戸不純物及び前記第 1 の不純物が、同じ元素であり、該元素が活性領域の不純物拡散効果を有するように選択されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 4】前記量子井戸不純物がドナー元素であることを特徴とする、請求項 1～請求項 3 のいずれかに記載の発光素子。

【請求項 5】前記量子井戸不純物がアクセプタ元素であることを特徴とする、請求項 1～請求項 3 のいずれかに記載の発光素子。

【請求項 6】前記アクセプタ元素が、IIA 族及び IIB 族元素からなる群から選択されることを特徴とする、請求項 5 に記載の発光素子。

【請求項 7】前記アクセプタ元素が、マグネシウムであることを特徴とする、請求項 6 に記載の発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体発光素子の製造に関するものである。とりわけ、本発明は、GaN 系発光素子の発光特性の向上を目的としたものである。

## 【0002】

【従来の技術】 $Al_xGa_{1-x}As$  及び  $In_s(Al_xGa_{1-x})P$  材料系、及び、厚さが  $0.1 \sim 5.0 \mu m$  の範囲の「バルク」活性領域を用いた二重ヘテロ構造を用いることによって、赤、オレンジ、及び、黄スペクトル領域の極めて効率のよい可視発光素子 (LED) が生産されるようになった。これら極めて効率のよい LED は、直接バンド間遷移を利用して、適合する波長の光を発生する。

【0003】日亜化学工業株式会社及び豊田合成株式会社によって商品化された最新の極めて効率のよい青 LED では、シリコンと亜鉛の両方を「共存ドーブ」した厚さ  $0.05 \sim 0.10 \mu m$  の「バルク」活性領域に関連して  $AlInGaN$  材料系が用いられている。共存ドー

ピングには、2つの明白な効果がある。第 1 に、エピタキシャル GaN に関連した極めて高い欠陥密度によって、ドーブされていない (アンドープ) 材料ではバンド間遷移の効率が悪くなるが、Zn-Si 対によって、極めて効率のよい発光メカニズムが得られる。第 2 に、Zn-Si 対を選択すると、それぞれ、バンド間、及び、Zn-Si 不純物の中心からの発光に関して、波長が  $380 nm$  から  $450 nm$  に大幅にシフトする。この波長のシフトだけで、人間の眼の検出効率はほぼ  $1000$  倍に上昇する。こうした LED 構造は、青のスペクトル領域の場合には許容可能であるが、活性領域におけるインジウム (In) のモル分率 (式  $In_xGa_{1-x}N$  における  $x$ ) を増すことによって波長を緑のスペクトル領域にシフトさせることを試みると、結果は、LED の色純度が劣化し、「白っぽい」色になる。極めて効率のよい、スペクトル的に純粋な緑及び青の LED が、商業的に大いに必要とされている。

【0004】厚さ約  $3 nm$  の極めて薄い量子井戸 (QW) に関連して同じ  $AlInGaN$  材料系を用いた極めて効率のよい青及び緑の LED が、商品化されている。これらの素子は、アンドープ QW 領域と、直接バンド間遷移を用いて、効率の高い、より純粋な色を実現する。特殊プロセス及び技術を利用して、ドーバントの取り込み及び拡散が排除されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明は意図的ドーピングにより従来の LED よりさらに発光効率が高く発光波長が長い発光特性が向上した LED を実現する。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】LED の効率を高め、発光波長を増大させてアンドープ QW を備えた LED の発光特性より特性の向上した LED を得るため、量子井戸 (QW) LED 活性領域に故意に不純物が導入される。さらに、隣接する層に見いだされるのと同様の不純物を故意に加えることによって、不純物拡散の制御不能または望ましくない効果を低減することができる。

【0007】薄い GaN 核生成層が、サファイア基板上に成長させられる。厚い Si をドーブした GaN 層が、薄い GaN 核生成層の上に成長させられる。GaN:Mg から構成される第 1 の閉じ込め層が、n タイプの GaN 層の上に成長させられる。薄い  $In_xGa_{1-x}N$  QW 活性領域が、第 1 の閉じ込め層の上に成長させられる。薄い QW 活性領域は、任意選択でドーブされる。GaN ベースの化合物から構成される第 2 の閉じ込め層が、薄い QW 活性領域の上に配置される。第 1 と第 2 の閉じ込め層は、単独、または、組み合わせて、ドーブされる。

## 【0008】

【発明の実施の形態】図 1 には、発光素子 10 の望ましい実施態様が示されている。GaN 核生成層 14 が、サファイア基板のような基板 12 上に配置されている。S

i不純物をドーピングした厚いnタイプのGa<sub>0.9</sub>N層16が、Ga<sub>0.9</sub>N核生成層14の上に形成される。Mg不純物をドーピングしたGa<sub>0.9</sub>Nベースの化合物から構成される第1の閉じ込め層18が、厚いSiをドーピングしたGa<sub>0.9</sub>N層16の上に配置される。薄いIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N量子井戸(QW)活性領域20が、第1の閉じ込め層18の上に配置される。薄いQW活性領域20に、マグネシウム(Mg)が故意にドーピングされている。Mgを任意選択でドーピングしたAlGa<sub>0.9</sub>Nから構成される第2の閉じ込め層22が、薄いQW活性領域20の上に配置される。第1と第2の閉じ込め層は、単独または組み合わせて、Mgがドーピングされる。Mgをドーピングした、Ga<sub>0.9</sub>Nベースの化合物から構成されるコンタクト層24が、第2の閉じ込め層22の上に配置される。

【0009】上記量子井戸活性領域に故意に導入される不純物によって、LEDの効率が高くなり、発光波長が増大して、アンドープQWLEDの発光波長を超える。さらに、閉じ込め層の一方に同様に故意に不純物を添加することによって、不純物拡散の制御不能なまたは望ましくない効果を低減させることが可能である。代替案として、QW活性領域を「閉じ込める」層には、Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nを含めることが可能である。QW活性領域の内部効率を改善することを望む場合、これらの不純物は、ドナーまたはアクセプタとすることが可能である。QW活性領域の注入効率を改善することを望む場合、不純物はアクセプタである。ドナーは、酸素、硫黄、セレン、または、テルルといったVI族、または、シリコン、ゲルマニウム、または、スズといったIV族から選ぶことが可能である。アクセプタは、例えば、マグネシウム、ベリリウム、または、カルシウムといったIIA族、または、例えば、亜鉛、カドミウムといったIIB族、または、例えば、炭素といったIV族から選ぶことが可能である。さらに、ランタノイドから選んだ希土類元素は、他の材料において効率のよい発光の中心となることが解っており、AlInGa<sub>0.9</sub>N材料系においても極めて効率をよくすることができよう。

【0010】本発明は、4つの異なる方法によって、発光ダイオードの総合効率に影響を及ぼす。可視LEDの総合効率 $\eta_{ext}$ は、いくつかの個々の独立した効率の積として定義することが可能である：

$$\eta_{ext} = \eta_{int} \times \eta_{inj} \times \eta_{extr} \times \eta_{det}$$

ここで、内部効率 $\eta_{int}$ は、フォトン放出する少数キャリアの注入された少数キャリアの比率である。注入効率 $\eta_{inj}$ は、活性領域に送り込まれる電流の全電流にたいする比率である。抽出効率 $\eta_{extr}$ は、結晶から抜け出すフォトンの発生フォトンに対する比率である。可視LEDの場合、検出効率 $\eta_{det}$ は、単位放射パワー当たりの眼の感度の大きさである。

【0011】内部効率は、結晶の欠陥が高密度であるため、バンド・エッジ近くの発光より効率の高い不純物

に関連した発光によって増大させられる。

【0012】注入効率は、少数キャリアの注入が正孔から電子に変化するために上昇する。これは、2つの理由から重要である。第1に、n層における電子濃度のp層における正孔濃度に対する比が、1を大幅に超えるので、電子注入に好都合である。第2に、Ga<sub>0.9</sub>Nベースの材料中の電子は、正孔よりも有効質量がはるかに小さいので、はるかに移動度が高い。

【0013】不純物に関連した発光が、バンド・エッジ近くの光ほど強く活性領域に吸収されないので、抽出効率が高くなる可能性がある。

【0014】青と緑のLEDの検出効率は、発光波長によって強く影響され、波長の増大によって人間の眼の感度が高くなる。本発明の不純物に関連した発光によって、発光波長がより長いほうにシフトし、検出効率が増加する。

【0015】図2には、図1に示す素子に関する製造プロセスの工程図が示されている。ステップ40で、第1の薄いGa<sub>0.9</sub>N核生成層を、520°Cといった低成長温度でサファイア基板上に直接形成する。ステップ50において、Ga<sub>0.9</sub>N:Si層が、約1050°Cの成長温度で核生成層に直接形成されるが、厚さは、2 $\mu$ m~5 $\mu$ mの間で変動する可能性がある。ステップ60において、第1の閉じ込め層が、Ga<sub>0.9</sub>N:Si層の上に形成される。ステップ70において、MgをドーピングしたInGa<sub>0.9</sub>NQW活性領域が、650°C~850°Cの範囲の成長温度で第1の閉じ込め層の上に形成されるが、QW活性領域の厚さは、一般に、3nmである。ステップ80において、MgをドーピングしたGa<sub>0.9</sub>N層が、650°C~1100°Cの範囲の成長温度でQW活性領域の上に形成されるが、厚さは、0.1~1.0 $\mu$ mの間で変動する可能性がある。

【0016】これらの層は、有機金属気相成長(OMVPE)、金属有機化学蒸着(MOCVD)、分子線成長(MBD)、気相MBE(GPMBE)、または、ハイブリッド気相成長(HVPE)といった多くの利用可能な技法の1つを用いて成長させることが可能である。以下に本発明の実施態様を例示する。

【0017】(実施態様1)：基板(12)と、基板(12)上に配置されたGa<sub>0.9</sub>N核生成層(14)と、Ga<sub>0.9</sub>N核生成層(14)上に配置されたSiをドーピングしたGa<sub>0.9</sub>N電流拡散層(16)と、SiをドーピングしたGa<sub>0.9</sub>N電流拡散層(16)上に配置された、それぞれが、それぞれ第1、第2の不純物を含んでいる第1、第2の閉じ込め層(18、22)と、第1、第2の閉じ込め層(18、22)の間に挿入され、発光素子の発光特性が向上するように選択された量子井戸不純物を備える、薄い量子井戸活性領域(20)とを備えた、発光素子(10)。

(実施態様2)：前記第1の不純物が、注入効率を改善

することによって、発光素子の発光特性が向上するように選択されていることを特徴とする、実施態様1に記載の発光素子。

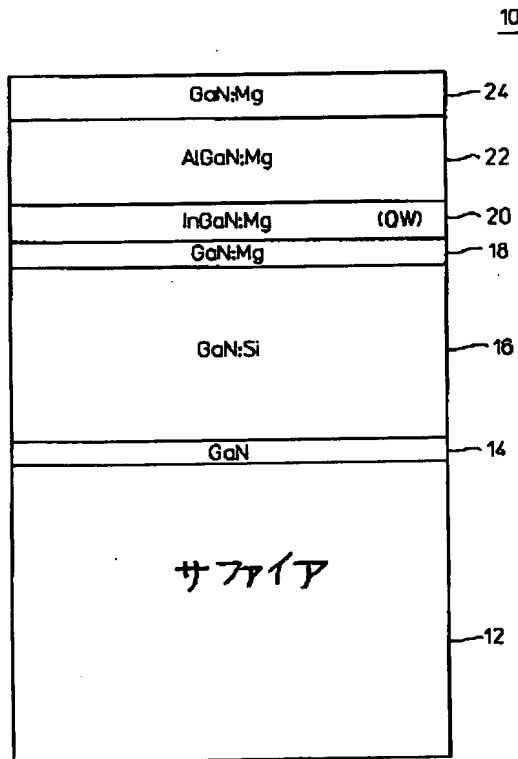
【0018】（実施態様3）：前記量子井戸不純物及び前記第1の不純物が、同じ元素であり、該元素が活性領域の不純物拡散効果を有するように選択されていることを特徴とする、実施態様1に記載の発光素子。

（実施態様4）：前記量子井戸不純物がドナー元素であることを特徴とする、実施態様1～実施態様3のいずれかに記載の発光素子。

（実施態様5）：前記量子井戸不純物がアクセプタ元素であることを特徴とする、実施態様1～実施態様3のいずれかに記載の発光素子。

（実施態様6）：前記アクセプタ元素が、IIA族及びIIB族元素からなる群から選択されることを特徴とする、実施態様5に記載の発光素子。

【図1】



（実施態様7）：前記アクセプタ元素が、マグネシウムであることを特徴とする、実施態様6に記載の発光素子。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の発光素子を示す図である。

【図2】図1に示す素子の製造プロセスの工程図である。

【符号の説明】

- 10 発光素子
- 12 基板
- 14 GaN核生成層
- 16 GaN層
- 18 第1の閉じ込め層
- 20 量子井戸活性領域
- 22 第2の閉じ込め層
- 24 コンタクト層

【図2】

